



Lange Kleiweg 137
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

www.tno.nl

T 015 284 30 00
F 015 284 39 91
Info-DenV@tno.nl

TNO-rapport

TNO-DV2 2006 A102

**Consequenties van de invoering van MKM-munitie
op veiligheid, gevolgschade en (internationaal)
opereren**

Datum	juni 2006
Auteur(s)	ir. P.G. van 't Hof ir. J.H.G. Scholtes
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	ing. J.C. Hoeneveld
Vastgesteld d.d.	30 april 2006 (Deze rubricering wijzigt niet)
Titel	Ongerubriceerd
Managementuittreksel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Exemplaarnummer	8
Oplage	23
Aantal pagina's	28 (excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	-

DISTRIBUTION STATEMENT A
Approved for Public Release
Distribution Unlimited

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 2006 TNO

AQ F06-12-0469

Consequenties van de invoering van MKM-munitie op veiligheid, gevolgschade en (internationaal) opereren

Als men het over de krijgsmacht heeft, denkt men aan munitie. Aangezien er bij initiatie van munitie in een korte tijd zeer veel energie vrijkomt, brengt het gebruik door de krijgsmacht grote risico's met zich mee. De doelstelling van dit rapport is de consequenties van het gebruik van Minder Kwetsbare Munitie (MKM) ten opzichte van conventionele munitie te belichten op gebieden als veiligheid, internationale inzet, levenscycluskosten en levensduur.



Inleiding

Munitie en de krijgsmacht zijn onlosmakelijk met elkaar verbonden. Aangezien bij initiatie van munitie in een korte tijd zeer veel energie vrijkomt, brengt het gebruik grote risico's met zich mee: munitie kan ook onbedoeld ontsteken. Dit kan niet alleen gebeuren door vijandelijke

of terroristische activiteiten, maar ook door eigen fouten en ongelukken.

Deze rapportage is onderdeel van het doelfinancieringsproject 'Collateral Damage' onder het programma V218, munitietechnologie, waarin verschillende aspecten van munitie worden onderzocht.

Doelstelling

De doelstelling van dit rapport is de consequenties van het gebruik van Minder Kwetsbare Munitie (MKM) ten opzichte van conventionele munitie te belichten op gebieden als veiligheid, internationale inzet, levenscycluskosten en levensduur.

Beschrijving van de werkzaamheden

In dit rapport worden de gevolgen van initiatie van munitie door een ongewilde externe stimulus beschouwd aan de hand van reële operationele scenario's. Dit wordt vergeleken met de gevolgen in dezelfde scenario's, waarin gebruik is gemaakt van Minder Kwetsbare Munitie (MKM). Naast de historie van MKM wordt uitgelegd wat MKM is. Vervolgens worden de gevolgen van de invoering van MKM voor transport, opslag, internationale operaties en levensduur beschreven op grond van een literatuurstudie.

Van moleculair niveau tot opslagniveau kan munitie ontworpen worden om minder gevoelig te zijn voor ongewenste stimuli.

Consequenties van de invoering van MKM-munitie op veiligheid, gevolgschade en (internationaal) opereren

In het hoofdstuk ‘Mitigation Technieken’ worden technieken beschreven om ook de reacties van conventionele munitie bij een ongewenste stimulus te temperen.

Resultaten en conclusies

Voor vrijwel alle munitiesoorten is al een variant te vinden die bestand is tegen de meeste, algemeen voorkomende dreigingen. Het gebruik van deze MKM-varianten vergroot de veiligheid van het personeel en de inzetbaarheid van materieel. Bij ongelukken zullen veel minder slachtoffers vallen en het voortzettingsvermogen van operaties komt minder snel in gevaar. Doordat MKM minder gevoelig is voor externe stimuli, kan men er bij transport en opslag veel flexibeler mee omgaan. Dit kan veel tijd en geld besparen.

Op dit moment hanteren verschillende landen verschillend beleid voor het ontwikkelen en implementeren van MKM. Als standaarden worden ontwikkeld voor de verschillende MKM-klassen, zoals de door NIMIC voorgestelde HD 1.2.3# gevaarsklasse gaan de voordelen van MKM zich uitbetalen. De invoering van MKM maakt het gebruik van munitie veel veiliger, terwijl de kosten van de gehele levenscyclus niet wezenlijk hoger en op termijn waarschijnlijk lager zijn.

Toepasbaarheid

Deze visie kan direct toegepast worden bij de beschouwingen binnen grotere programma's op hoger niveau zoals compoundverdediging, platform-survivability of munitieopslag.

PROGRAMMA	PROJECT
Programmabegeleider ing. J.C. Hoeneveld, DMO/LS/WS&M/Sectie munitie	Projectbegeleider ing. J.C. Hoeneveld, DMO/LS/WS&M/Sectie munitie
Programmaleider dr. ir. R.H.B. Bouma, TNO Defensie en Veiligheid, BU3	Projectleider ir. J.H.G. Scholtes, TNO Defensie en Veiligheid, BU3
Programmatitel Munitie technologie	Projecttitel V218: Veiligheid en consequentie MKM
Programmanummer V218	Projectnummer 014.16067
Programmaplanning Start juni 2003 Gereed december 2004	Projectplanning Start juni 2003 Gereed december 2004
Toezichthouder -	
Frequentie van overleg -	Projectteam ir. P.G. van 't Hof, ir. J.H.G. Scholtes

Contact en rapportinformatie

Lange Kleiweg 137
Postbus 45
2280 AA Rijswijk

T 015 284 30 00
F 015 284 39 91

Info-DenV@tno.nl

TNO-rapportnummer
TNO-DV2 2006 A102

Opdrachtnummer
-

Datum
juni 2006

Auteur(s)
ir. P.G. van 't Hof
ir. J.H.G. Scholtes

Rubricering rapport
Ongerubriceerd

Samenvatting

Tussen 1966 en 1981 hebben er vier grote ongelukken plaats gevonden op vliegdekschepen van de Verenigde Staten. In alle gevallen ontstond uit een klein ongeluk een kettingreactie van explosies. Deze rampen hebben geleid tot de vraag naar Minder Kwetsbare Munitie (MKM) of Insensitive Munitions (IM). Bij een aantal NAVO-partners als Frankrijk, Italië en het Verenigd Koninkrijk wordt of is het beleid bij de aanschaf van nieuwe munitie gericht op IM. In dit rapport wordt uitgelegd wat MKM is en wat er de afgelopen jaren bereikt is op MKM-gebied. Verder worden de gevolgen van de invoering van MKM toegelicht.

Het gebruik van MKM verhoogt de inzetbaarheid van munitie en wapensystemen en biedt de grootst mogelijke veiligheid voor het personeel en de omgeving. Er zullen minder doden en gewonden vallen bij ongelukken. Ook de schade aan het materieel zal veel kleiner zijn. Het transport en de opslag van munitie kan sneller en flexibeler, waardoor de kosten lager uitvallen. Het is de verwachting, dat de totale kosten gedurende de levensduur van MKM lager zullen zijn dan die van conventionele munitie. Voor militaire operaties in internationaal verband kan het van belang zijn om gebruik te gaan maken van MKM om uitsluiting door andere MKM-gebruikende landen te voorkomen. Binnen de NAVO is de introductie van MKM ook genoemd in het kader van Defense Against Terrorism.

Op dit moment is er voor vrijwel alle munitiesoorten een variant te vinden, die bestand is tegen de meeste, algemeen voorkomende dreigingen. Ook voor conventionele munitie zijn er methoden ontwikkeld om de reactie op ongewenste stimuli milder te maken.

Summary

Between 1966 and 1981 four major accidents took place on United States aircraft carriers. In all cases a small incident resulted in a chain reaction of explosions. These accidents have led to the demand for Insensitive Munitions (IM). Nowadays NATO-partners like France, Italy and the United Kingdom have developed an IM policy for the procurement of new munitions. In this report the concept of IM is explained and some technical achievements concerning IM are reported.

The use of IM enhances the sustainability of munitions and platforms in military operations and offers the highest safety level for personnel and surroundings. In accidents the number of people killed or injured and the materiel damaged will be smaller. Transport and storage of munitions are safer and more flexible and therefore save money. The total costs of insensitive munitions during the whole life-cycle are expected to be lower than the costs of conventional munitions. For international military operations it can be important to use IM to prevent exclusion by other IM-using countries. Within NATO the introduction of IM is called in the light of 'Defense against Terrorism'.

At this moment for most munitions a (partly) IM substitute can be found. Reaction violence of conventional munitions towards unwanted stimuli can be reduced as well by means of mitigation techniques.

Inhoudsopgave

	Managementuittreksel	2
	Samenvatting.....	4
	Summary	5
1	Inleiding.....	7
1.1	Scenario's	7
1.2	Minder Kwetsbare Munitie	8
2	MKM	10
2.1	Historie van MKM.....	10
2.2	Minder Kwetsbare Munitie	11
3	Aspecten van MKM	15
3.1	Veiligheid	15
3.2	Studie naar intrinsieke voordelen MKM in UK.....	16
3.3	Gevaarsklasse voor MKM	17
3.4	Internationale consequenties	18
3.5	Kosten levenscyclus MKM (versus niet MKM)	19
3.6	Veroudering.....	20
4	Mitigation technieken	21
4.1	Wat zijn mitigation technieken?.....	21
4.2	Betonnen barrière.....	22
4.3	Puimsteen barrière	22
5	Conclusies	25
6	Referenties.....	27
7	Ondertekening	28

1 Inleiding

Munitie is per definitie gemaakt van hoog energetische materialen. Bij het gebruik van munitie komt in een zeer korte tijd veel energie vrij. Dit is natuurlijk de bedoeling maar het brengt risico's met zich mee. Wat gebeurt er namelijk, als munitie door een ongewilde, externe stimulus wordt geactiveerd?

In de volgende paragrafen worden enkele scenario's beschreven.

1.1 Scenario's

Stel een eenheid van de landmacht is op patrouille in een buitenwijk van Kabul. De eenheid rijdt in een open jeep, waarin zich de manschappen bevinden. Achterop de jeep liggen een aantal plunjezakken en een aantal munitiesoorten, van klein kaliber munitie tot antitankwapens. Ergens achter een raam bevindt zich een scherpschutter, die minder gelukkig is met de aanwezigheid van buitenlandse militairen. Hij heeft een plaatje als in figuur 1 in het vizier.



Figuur 1 Een Nederlandse eenheid bewapend met antitankraketten gedurende een vredesoperatie.

De antitankraket wordt bedoeld of onbedoeld midden in de gevechtslading geraakt door een kogel, waardoor deze explodeert (detoneert). De holle lading reageert, er ontstaat een enorme hitte en druk en er vliegen scherven rond. De aanliggende munitie kan hier op verschillende manieren op reageren. Als de munitie niet door een sympathische reactie detoneert, kan dit gebeuren ten gevolge van cook-off (door brand/hitte). Ook is het mogelijk, dat de munitie detoneert als gevolg van de inslag van de holle lading of scherven. In ieder geval kan de eenheid door de inslag van één kogel volledig uitgeschakeld zijn.

Het Nederlandse leger wordt op dit moment voornamelijk ingezet op vredesmissies en ondersteunende operaties. En hoewel de doelen van deze operaties in het algemeen zijn om de plaatselijke bevolking te beschermen, zijn er altijd groeperingen die fel gekant zijn tegen de aanwezigheid van de Nederlandse troepen. Zoals het voorafgaande en de beschietingen van Camp Smitty in Irak met mortieren hebben aangetoond, levert dit direct gevaar op voor de aanwezige militairen en bedreigt de inzetbaarheid. Een ander voorbeeld staat in het volgende scenario.

Stel, dat een van deze mortiergranaten midden in een munitiedepot terecht komt. De geraakte munitie vliegt voor een deel in brand en een ander deel detoneert. De aanliggende munitie kan door cook-off of rondvliegende scherven detoneren, maar er kan ook een sympathische reactie met de eerste detonatie optreden. Langs verschillende wegen ontstaat er een massa-explosie die allerlei (brandende) brokken en scherven het kamp in slingert. Verder is een enorme blastwerking, die alles binnen een bepaalde straal wegblaast. Als gevolg wordt een groot deel van het kamp verwoest en vliegt een ander deel in brand. Een mortierinslag kan een enorm verlies aan mensenlevens en materieel betekenen. Daarnaast komt de operatie in gevaar, omdat het overgebleven personeel te weinig munitie en materieel heeft. Dit kan betekenen dat de operatie afgebroken moet worden voor de veiligheid van de rest van de manschappen. Tevens, niet het minst belangrijk: het verlies van een aantal manschappen kan belangrijke gevolgen hebben voor verantwoordelijke personen en toekomstige operaties van het leger. Ook kan het wellicht doordringen tot/vragen oproepen in de Tweede Kamer.



Figuur 2 Een marineschip in de haven van Al Jubayl wordt geladen met granaten.

Een ander scenario is het volgende: ergens in de Arabische wereld wordt een marineschip in de haven geladen met munitie voor een operatie, zie figuur 2. Aan de kade staat een onafzienbare rij granaten opgesteld. Op een kilometer afstand staat een lid van een terroristische organisatie met een guided missile, die door de beveiliging van de haven wist heen te breken. Hij mikt op de granaten en schiet.

Recente dreigingen tonen aan, dat zo iets ook in Nederland kan gebeuren. Als een Nederlands fregat geladen moet worden met bijvoorbeeld conventionele 127 mm granaten of torpedo's en een vijand bestookt de voorraad munitie op de kade vanuit een helikopter met een geleide raket of een granaat, kan deze haast niet missen. De gevolgen voor de omgeving en het fregat zullen enorm zijn.

1.2 Minder Kwetsbare Munitie

In het voorafgaande staan voorbeelden, waarin men door een vijand als het ware bestookt wordt met de eigen wapens. Dit is een risico, dat men bij een operatie in

vijandelijk gebied misschien nog mag lopen, maar bij een vredesmissie of op een thuisbasis, zal dit zeker niet zo zijn.

Het risico voor het personeel en het materieel zou bij conventionele munitie een stuk kleiner zijn, als de wapens aan het oog onttrokken zouden worden of achter bepantsering opgeslagen. In feite wordt dan de kans op een ongeval een stuk kleiner. Maar de bron van het risico, de munitie, blijft bestaan en de munitie blijft gevoelig voor de andere genoemde stimuli. Tevens kan hij ook ongewild zelf geïnitieerd worden met de ernstige gevolgen van dien, zie paragraaf 2.1.

Dit roept de vraag op of het wel nodig is onszelf bloot te stellen aan de risico's van munitie? Zijn deze risico's ondanks allerlei veiligheidseisen niet onaanvaardbaar hoog? Mogen we onze manschappen met zulk gevaarlijk materieel inzetten, terwijl we beschikken over Minder Kwetsbare Munitie (MKM)? Is MKM beter dan conventionele munitie?

In het volgende hoofdstuk wordt de historie van MKM verteld en worden de voorwaarden waaraan MKM op de langere termijn moet voldoen en de nieuwste ontwikkelingen op MKM-gebied uitgelegd. In hoofdstuk 3 worden de voor- en nadelen van MKM beschreven en een manier om de voordelen maximaal te benutten. Ook worden een aantal andere aspecten zoals internationale consequenties van de invoering van MKM, veroudering van MKM en kosten gedurende de gehele levenscyclus kort aangestipt. Tot slot worden in hoofdstuk 4 mitigation technieken besproken, waarmee ook het gebruik van conventionele munitie een stuk veiliger kan worden gemaakt.

2 MKM

2.1 Historie van MKM

Op 29 juli 1967 vindt er een ongeluk plaats op de USS Forrestal in the Golf van Tonkin [1, 2]. Het ongeluk ontstaat door het ongewild afvuren van een Zuni-raket, waarschijnlijk veroorzaakt door een verkeerde spanning over de stekker van de raket die in het vliegtuig wordt geplugd. De 5-inch raket die bevestigd is aan een F-4 vliegtuig op het vliegdek slaat in op een A-4 vliegtuig, die aan de andere zijde van dit dek staat. Dit scheurt de externe brandstoftank uit elkaar en ontsteekt de JP-5 brandstof. De brandstof veroorzaakt in zeer korte tijd een vuurzee met een enorme hitte. In contact met dit vuur komen twee A-4 vliegtuigen, geladen met '500 pond'-bommen, een met '750 pond'-bommen en zeven geladen met twee '1000 pond'-bommen.



Figuur 3 Het blussen van de brand na de ramp op de USS Forrestal op 29 juli 1967.

De explosie die volgt door cook-off van deze bommen vaagt brandweerploegen weg en verspreidt het vuur naar een groep F-4 vliegtuigen. Een tweede nog heftiger explosie verspreidt de brand verder naar vijf F-4 en RA-5C vliegtuigen. Een hele rij explosies volgt in de paar volgende minuten. De detonaties verwoesten het vliegdek en de brandende brandstof verspreidt zich in de lagere dekken

Nadat de explosies stoppen, kan het vuur effectief bestreden worden en is de brand snel onder controle, zie figuur 3 en 4. Er zijn 134 slachtoffers te betreuren en 162 gewonden. Meer dan 60 vliegtuigen worden verwoest of ernstig beschadigd en het vliegdekschip is meerdere maanden uit de running.

Dit is slechts een van de ongelukken, die heeft plaatsgevonden op een vliegdekschip door toedoen van de eigen munitie. Tussen 1966 en 1981 hebben er vier grote ongelukken plaatsgevonden. Hierbij vielen 220 slachtoffers en 708 gewonden. Er werden 42 vliegtuigen verwoest en 72 raakten beschadigd.



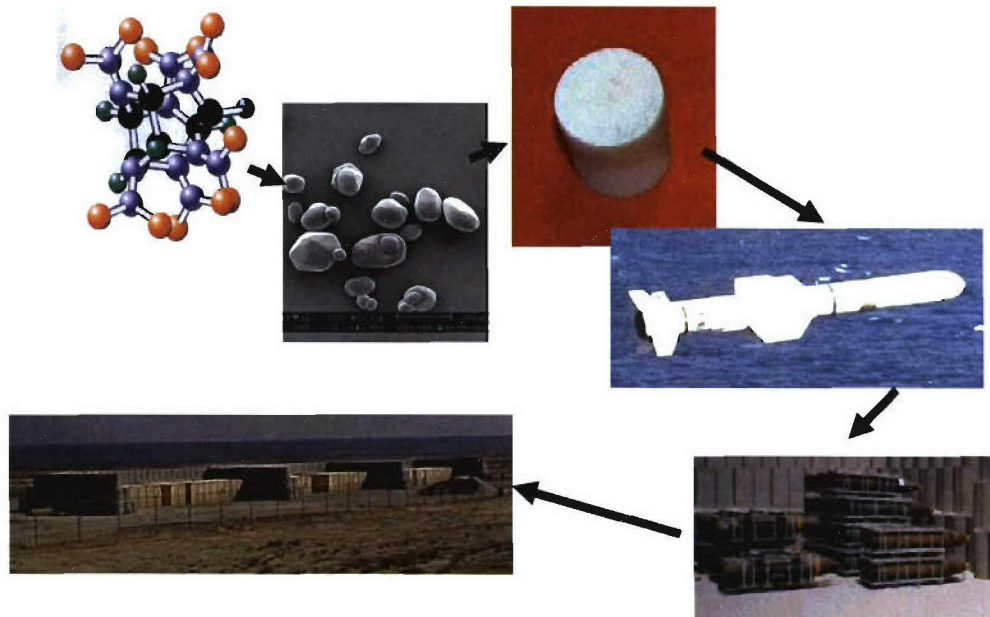
Figuur 4 Overblijfselen van de ramp op de USS Forrestal op 29 juli 1967.

De ongevallen met de vliegdekschepen hebben in de Verenigde Staten geleid tot onderzoek om de vliegdekschepen en andere wapenplatformen minder kwetsbaar te maken voor ongevallen en andere externe stimuli. Dit leidde tot de vraag naar Minder Kwetsbare Munitie (MKM) of Insensitive Munitions (IM). Dit is munitie, die in oorlogstijd net zo effectief is als conventionele munitie, maar minder gevoelig is voor externe stimuli. De bij de NAVO gehanteerde definitie voor Insensitive Munitions is:

Munitions which reliably fulfill their performance, readiness and operational requirements on demand, but which minimise the probability of inadvertent initiation and severity of subsequent collateral damage to weapon platforms, logistic systems and personnel when subjected to unintentional stimuli.

2.2 Minder Kwetsbare Munitie

De opslag, het transport en de operationele inzet van munitie kan op allerlei niveaus veiliger worden gemaakt, zie figuur 5. Allereerst kan men natuurlijk voor het explosief een kristal nemen met als intrinsieke eigenschap ongevoeligheid. TATB is bijvoorbeeld ongevoeliger dan CL-20. Op moleculair niveau kan het kristal zo gemaakt worden, dat er bijna geen roosterfouten en onzuiverheden in zitten, die de gevoeligheid voor een schok verhogen. Op dit gebied zijn er ontwikkelingen gaande op het gebied van Reduced Sensitive RDX (RS-RDX) en Insensitive RDX (I-RDX). Een niveau hoger kunnen de springstof pellets op zo'n manier geperst worden, dat er geen holtes in komen. Dit ter voorkoming van hot spots, die de detonatie versnellen. Op wapenniveau kan bijvoorbeeld een afblaasopening (venting) in het wapen aangebracht worden, zodat er geen druk opgebouwd kan worden die detonatie tot gevolg heeft. Verder kunnen er isolatiematerialen aangebracht worden, die voorkomen, dat munitie blootgesteld aan brand te snel opwarmt. Ook de opslag van munitie kan gewijzigd worden, zodat bij explosie van een stuk munitie de rest niet explodeert.









Figuur 5 De verschillende niveaus waarop munitie minder kwetsbaar gemaakt kan worden.

Door de Nato (NIMIC) [1] zijn in STANAG 4439 en AOP 39 [2, 3] uiteindelijke doelen opgesteld waarnaar bij de ontwikkeling van MKM gestreefd zal worden. Deze doelen zijn van de vorm: bij een zekere dreiging x mag munitie hooguit een responsie van type y hebben. De verschillende dreigingen met de responsie staan in tabel 1. De verschillende typen zijn hier weergegeven en staan ook in tabel 1.

- Type I Responsie: 'Detonatie'.
- Type II Responsie: 'Gedeeltelijke Detonatie'.
- Type III Responsie: 'Explosie'.
- Type IV Responsie: 'Deflagratie'.
- Type V Responsie: 'Brand'.

In tabel 1 staat ook de manier van testen vermeld om te bepalen of de munitie voor een bepaalde dreiging aan de type responsie voldoet. In woorden: MKM mag onder invloed van externe dreigingen nooit heftiger reageren dan door in brand te vliegen, behalve bij inslag van een holle lading of bij de detonatie van aanliggende munitie. In dat geval mag de munitie exploderen, maar niet detoneren.

Tabel 1 De verschillende dreigingen voor munitie en de maximale responsie daarop met een test om de responsie op deze dreiging te simuleren.

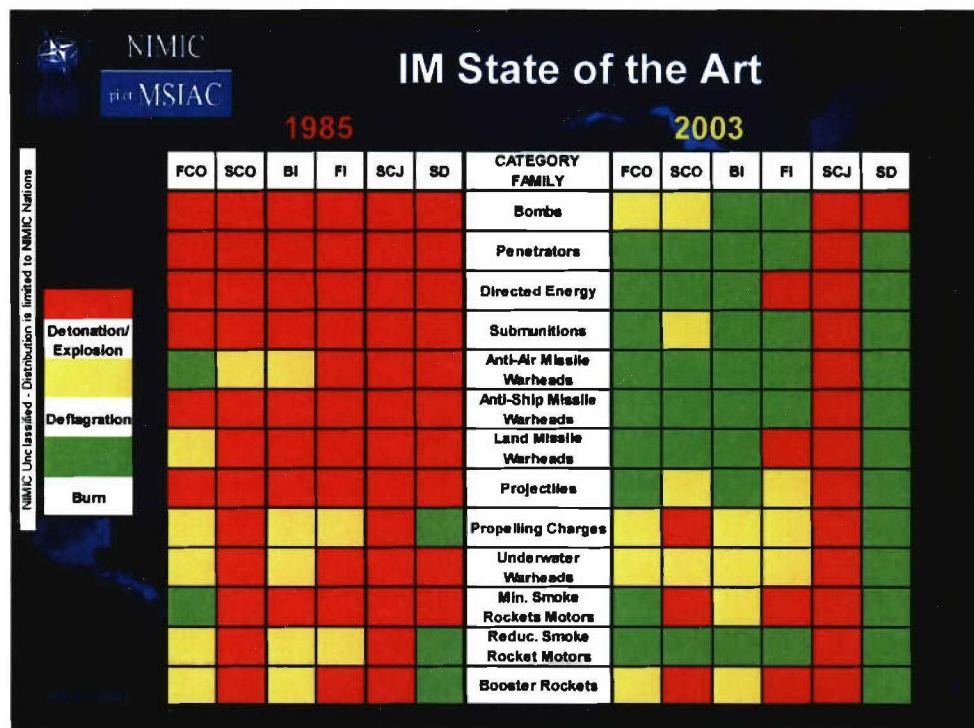
Dreiging	Dreiging	Test	Responsie (NATO)
Aanval met kleine wapens		Kogelinslag (tot 3 kogels, tot 850 m/s)	Type V Brand
Aanval met verscheurende wapens		Enkele scherven inslag (1-5, 16-250 g)	Type V Brand
Brand in magazijn, opslagplaats, vliegtuig of voertuig brandstof		Fast Cook-off (minimaal 30 min in brandstof-brand)	Type V Brand
Brand in aanliggend magazijn, opslagplaats of voertuig		Slow Cook-off (minimale verwarming 3,3 K/uur)	Type V Brand
Detonatie in magazijn, opslagplaats vliegtuig of voertuig		Reactie van aanliggende munitie op detonatie van zelfde munitie	Type III Geen Detonatie (0%)
Aanval met voorgevormde lading		Inslag van holle lading met kaliber van 50-62 mm	Type III Geen Detonatie (0%)

Elk land, dat lid is van NIMIC heeft zijn eigen beleid gevormd voor de invoer en ontwikkeling van MKM [4]. Het Nederlandse beleid aangaande Minder Kwetsbare Munitie is door ratificatie van STANAG 4439 in overeenstemming met de daarin vermelde doelstelling en afspraken. De implementatie betekent dat alle nieuwe munitie wordt beoordeeld of getest overeenkomstig de daarin vermelde procedures. In principe is hiermee de daadwerkelijke invoering van MKM binnen de Nederlandse defensie nog geen feit, omdat er nog geen eis aan de verwerving of ontwikkeling van munitie is gekoppeld. Wel heeft de Landmacht Staf reeds in 1992 de boodschap laten uitgaan, dat in het geval van vergelijkbare munitie de minder kwetsbare variant de voorkeur geniet.

De afgelopen jaren zijn er vele soorten munitie ontwikkeld die helemaal (of voor een groot deel) voldoen aan de type responsies vermeld in tabel 1. In tabel 2 staan de vorderingen die gemaakt zijn in het ongevoeliger maken van munitie van 1985 tot 2003. Hier is duidelijk te zien, dat er voor vele soorten munitie een MKM alternatief ontwikkeld is. Verder is er te zien is, dat het tot nu toe moeilijk is om munitie minder kwetsbaar te maken voor de inslag van een holle lading. Maar recent onderzoek heeft laten zien, dat het voor bepaalde wapens toch mogelijk is munitie ongevoeliger te maken voor deze dreiging [5].

Tabel 2

De ontwikkelingen van verschillende soorten munitie richting MKM van 1985 tot 2003. De meeste dreigingen voldoen aan de eisen van tabel 1, maar het is nog niet gelukt om de dreiging voor de inslag van een holle lading daaraan te laten voldoen. FCO is Fast Cook-Off, SCO is Slow Cook-Off, BI is Bullet Impact, FI is Fragment Impact, SCJ is Shaped Charge Jet (Holle lading) en SD is Sympathetic Detonation.



3 Aspecten van MKM

In het vorige hoofdstuk is verteld wat MKM is en waar het aan moet voldoen. Ook is een overzicht gegeven van de huidige stand van zaken op MKM-gebied. In dit hoofdstuk worden de gevolgen van het gebruik van MKM voor de veiligheid, het transport en de opslag van munitie besproken. Verder worden internationale consequenties van de invoer van MKM behandeld, de kosten van MKM gedurende de gehele levensduur en de veroudering van MKM.

3.1 Veiligheid

Met de invoering van MKM kan enorme winst geboekt worden op het gebied van veiligheid. Als de anti-tankraket, uit het eerste voorbeeld, vervangen was door MKM, zou de raket bij inslag van de kogel van een scherpschutter wellicht geen respons geven of slechts in brand vliegen. Als het personeel van de eenheid verder adequaat reageerde, kon de schade beperkt blijven tot het verlies van een anti-tankraket, een brandplek en misschien een brandwond bij een van de militairen. Dit is dan nog een relatief klein incident.

In het geval van de inslag van een mortier in een munitiedepot is de beperking van de schade vele malen groter. Als de munitie in de opslagplaats MKM is, zullen de direct getroffen stukken hooguit exploderen. De stukken die daar omheen geplaatst zijn, zullen hooguit deflageren of in brand vliegen. Zo kan de schade beperkt worden; er treedt geen detonatie op. De verliezen zullen dan namelijk vooral bestaan uit verloren munitie en een kapot munitiemagazijn. Verdere bescherming kan de effecten wellicht nog sterk reduceren.

Dit is een heel andere uitkomst dan in het geval van conventionele munitie. In dat geval was waarschijnlijk het halve kamp opgeblazen en een groot aantal slachtoffers gevallen. Als dit gebeurt was in een operatie zoals in Irak, zou het allerlei consequenties kunnen hebben. (In dit voorbeeld is het voorkomen van een inslag natuurlijk ook een oplossing.)

Om dit soort situaties te voorkomen heeft men bijvoorbeeld in het Verenigd Koninkrijk als MKM-beleid, dat alle nieuw aangeschafte munitie moet voldoen aan de doelen voor MKM uit STANAG 4439. Als dit niet haalbaar is, moet men het risico verminderen volgens het ALARP (as low as reasonable practicable) principe [6]. Het is dan, als er iets mis gaat vanuit politiek oogpunt beter uit te leggen, dat de legerleiding redelijkerwijs het maximale heeft gedaan om de veiligheid van het personeel te waarborgen. Zeker in de hedendaagse Europese maatschappij waar civiele werkgevers zich aan vele veiligheidsregels moeten houden en burgers zeer mondig zijn.

Tabel 3 De slachtoffers, gewonden en kosten van de ongelukken op vier Amerikaanse vliegdekschepen. De feitelijke, op MKM gebaseerde en mogelijk gespaarde getallen zijn gegeven.

		Feitelijk	Schatting gebaseerd op MKM	Mogelijk gespaard / bespaard
Oriskany	Slachtoffers	44	0	44
	Gewonden	156	50	106
	kosten M\$ (1991)	51,7	20,7	31
Forrestal	Slachtoffers	134	60	74
	Gewonden	161	20	141
	kosten M\$ (1991)	797,1	57,2	739,9
Enterprise	Slachtoffers	28	0	28
	Gewonden	343	20	323
	kosten M\$ (1991)	439,5	20,5	419
Nimitz	Slachtoffers	14	12	2
	Gewonden	48	41	7
	kosten M\$ (1991)	211,7	206,7	5

Dat introductie van MKM naast extra veiligheid voor het personeel inderdaad grote besparingen in de kosten van ongevallen met zich mee brengt toont een studie van de ongevallen op de vier Amerikaanse vliegdekschepen aan [7-9]. De feitelijke kosten (gemeten in het financieel jaar 1991), op MKM gebaseerde kosten, de besparingen en zeker niet te vergeten het aantal slachtoffers staan in tabel 3.

3.2 Studie naar intrinsieke voordelen MKM in UK

In het Verenigd Koninkrijk is een studie [10, 11] gedaan naar de voor- en eventuele nadelen van de invoering van minder kwetsbare munitie. Naast het feit, dat MKM voor de gebruiker veiliger is en de kans op operationeel blijven bij ongelukken groter is, zijn er voordelen te behalen in de opslag en het transport van MKM.

Voor deze studie heeft men een drietal soorten conventionele munitie beschouwd, die een groot deel van de munitie in de gevaarklasse (HD) 1.1 in het Verenigd Koninkrijk vertegenwoordigen. Deze munitie wordt gebruikt in buitenlandse operaties, tijdens oefeningen en op schepen. Dit betekent, dat de munitie vaak getransporteerd moet worden en in ruime mate beschikbaar is en dus opgeslagen moet zijn. In de studie is men ervan uit gegaan, dat als al deze 'klasse 1.1 munitie' vervangen wordt door MKM, de responsie van de munitie in beginstadium gelijkwaardig is aan die van klasse 1.2 en in een later stadium aan die van klasse 1.4. Als MKM dezelfde responsie heeft als munitie in klasse 1.2 betekent dit dat het kan detoneren door ongewenste stimuli, maar dat dit geen kettingreactie van detonaties tot gevolg zal hebben (vergelijk tabel 1 en tabel 2). In de volgende paragrafen wordt beschreven wat dit voor voordelen heeft voor opslag en transport.

3.2.1 Opslag

De opslag van explosieve stoffen is onderworpen aan strenge regelgeving. In een ruimte van bepaalde grootte en sterkte mag slecht een beperkte hoeveelheid explosief opgeslagen worden. Deze hoeveelheid verschilt per gevaarsklasse. Voordelen voor de opslag bij het gebruik van MKM zijn situatie specifiek en worden bepaald door bijvoorbeeld gebouwen, constructies en ligging ten opzichte van andere gebouwen. In ieder geval kan worden gesteld, dat als een bepaalde hoeveelheid 1.1 munitie vervangen wordt door MKM (en dus gelijk gesteld kan worden met klasse 1.2) de eisen aan de opslag een stuk versoepelen. Dit kan betekenen, dat of de hoeveelheid munitie in een opslag vergroot kan worden of bijvoorbeeld de lege ruimte rondom een opslagbunker

verkleind kan worden. Dit kan aanzienlijke besparingen opleveren in de hoeveelheid onroerend goed, die benodigd is voor de opslag van munitie (zeker in Nederland, waar grond schaars is en duur).

3.2.2 *Vervoer*

Het maximale TNT-equivalent (5 ton), dat over de weg vervoerd mag worden, is gelijk voor de gevaarsklassen 1.1, 1.2 en 1.3. Er is hier dus geen voordeel te behalen bij de afname van gevaarsklassen door invoer van MKM.

Bij het transport over het spoor betekent een verandering van gevaarsklasse 1.1 naar 1.2, dat de bufferzones van 80 meter tussen twee wagons met explosieven weggelaten kan worden. De maximale hoeveelheid te vervoeren explosieven per wagon (20 ton) verandert niet.

De maximale hoeveelheid explosieven, die men over een knooppunt, zoals een station of een haven mag vervoeren neemt toe. Dit betekent, dat transporten van explosieven veel flexibeler kunnen worden uitgevoerd, bij invoering van MKM.

3.2.3 *Volledig bewapende marineschepen*

Het TNT-equivalent van de hoeveelheid explosieven aan boord van een volledig bewapend marineschip is van zo'n omvang, dat het (in het Verenigd Koninkrijk) volgens de vergunningen niet toegestaan zou zijn om het schip aan te laten meren of in het dok te plaatsen voor reparaties. Ook mogen er slechts bepaalde hoeveelheden munitie tegelijkertijd op het dek geplaatst worden bij bevoorrading. Op dit moment zijn er bepaalde ontheffingen voor marineschepen in marinehavens, maar de kans is groot, dat dit in de toekomst gaat veranderen. Dit omdat een aantal marinebases midden in stedelijke gebieden ligt.

Het is niet mogelijk om een schip volledig te ontladen voordat het het dok in kan; het betekent naast een reusachtige logistiek operatie een langere tijd waarin een schip niet operationeel kan zijn.

Als de munitie op een schip door de invoering van MKM van klasse 1.1 naar 1.2 zou gaan of misschien wel naar 1.4 kan een marineschip gewoon aanmeren en wordt het veel makkelijker om het te bevoorraden met munitie. Een schip hoeft dan niet meer naar een speciale faciliteit voor munitiebevoorrading.

Het effect van IM wordt voor een groot gedeelte teniet gedaan, als niet alle munitie overgaat op gevaarsklasse 1.2. Als magazijnen namelijk een hoeveelheid 1.1 en een hoeveelheid 1.2 munitie bevatten, zullen de strengere regels voor opslag van klasse 1.1 voor een belangrijk deel gelden.

3.3 **Gevaarsklasse voor MKM**

Door de NAVO worden de intrinsieke voordelen van MKM bij een lagere gevaarsklasse onderkend. In een verslag van een recente workshop van NIMIC [12] worden deze voordelen weergegeven als in tabel 4. Deze gegevens ondersteunen de studie uit het Verenigd Koninkrijk. De vraag is dan in welke gevaarsklasse MKM ingedeeld moet worden. De eigenschappen van MKM passen niet speciaal bij een bepaalde VN gevaarsklasse. Daarom zijn in de Verenigde Staten, het Verenigd Koninkrijk, Frankrijk en Italië onafhankelijk speciale klassen voor ongevoelige munitie ontwikkeld genaamd HD 1.2.3 of HD 1.2 Unit Risk [12, 13]. Hierin betekent 'Unit Risk' dat slechts een stuks munitie mag detoneren onder een bepaalde dreiging. Een uitwerking van de HD 1.2.3 klasse voor opslag wordt uitgebreid omschreven in [14].

Deze nieuwe gevaarsklasse geldt echter slechts voor het hanteren en opslaan van munitie. Het transport valt in deze landen onder de gewone gevaarsklassen. Om eenheid te brengen in de verschillende ontwikkelde gevaarsklassen voor MKM worden door NIMIC de volgende klassen voorgesteld.

- HD 1.2.3[#]: Deze klasse is gelijk aan klasse 1.6, maar heeft niet de eis dat de explosieve stoffen extreem ongevoelig moet zijn voor detonatie (EIDS). Deze klasse staat niet toe dat verschillende soorten munitie binnen deze klasse gemixt worden, aangezien ze niet getest zijn op de responsie op de detonatie van andere munitie binnen deze klasse.
- HD 1.2.4[#]: Deze klasse is gelijk aan de MKM-doelen uit STANAG 4439 (tabel 1) behalve voor de dreiging van een holle lading. Ook deze klasse heeft niet de eis dat de explosieve stoffen extreem ongevoelig moet zijn voor detonatie (EIDS). Verschillende soorten munitie met deze veiligheidsklassen mogen met elkaar worden gemixt.

Als deze of vergelijkbare gevaarsklassen door de NAVO geaccepteerd en bij de VN ingevoerd worden gaan de intrinsieke voordelen van MKM zich uitbetalen.

Tabel 4 Voordelen van een verlaagde veiligheidsklasse voor MKM.

		Financieel	Hoeveelheid	Flexibiliteit	Veiligheid
Transport	Weg	0	0	1	3
	Spoor	1	1	1	3
	Lucht	1	0	0	3
	Zee	0	0	0	3
'Handling'	Weg	1	2	3	3
	Spoor	1	2	3	3
	Lucht	2	2	3	3
	Zee	3	3	3	3
Opslag	Magazijn	1	2	2	1
	Open veld	2	3	3	3

Voordelen: (0: geen, 1: laag, 2: medium, 3: hoog).

3.4 Internationale consequenties

Op de lange termijn zal de invoering van MKM consequenties hebben voor de samenwerking van verschillende landen bij (vredes)operaties. Bij de meeste operaties werkt Nederland in VN- of NAVO-verband samen met andere landen. Een aantal grote landen zoals Frankrijk, Groot Brittanië en de Verenigde Staten is al een eind op weg om de munitievoorraad te vervangen door MKM. Bij samenwerking met deze landen loopt Nederland de kans afgewezen te worden in een gezamenlijke operatie. De reden hiervoor is, dat de Nederlandse wapens meer risico met zich mee brengen in geval van een ongeluk of een vijandelijke aanval. Dit geldt dan niet alleen voor Nederland, maar ook voor het samenwerkende land. Verder kan de Nederlandse munitie niet opgeslagen worden bij MKM, omdat het effect van MKM dan voor een groot deel teniet wordt gedaan, zie paragraaf 3.2. Dit maakt het extra lastig voor het samenwerkende land. Het valt namelijk niet uit te leggen, dat een land extra investeringen doet in de ontwikkeling en aanschaf van MKM voor de veiligheid van het personeel en dat het tegelijkertijd zijn personeel bloot stelt aan minder veilige conventionele wapens van een bondgenoot. Als Nederland op de lange termijn betrokken wil blijven bij (vredes)operaties zal dit een belangrijk punt van overweging zijn, wanneer internationale samenwerking in een

operatie toeneemt. Te meer, omdat gezamenlijke munitieopslag en zelfs gebruik van de munitie van partners tot de mogelijkheden gaat behoren.

Binnen de NAVO is de introductie van MKM ook genoemd in het licht van 'Defense against terrorism' [15].

3.5 Kosten levenscyclus MKM (versus niet MKM)

Om een goede inschatting te maken wat de kosten van MKM zijn ten opzichte van conventionele munitie moet de gehele levenscyclus van de munitie beschouwd worden. De kosten van munitie gedurende een normale levensduur worden bepaald door [16]:

- onderzoeks- en ontwikkelingskosten;
- productiekosten;
- kosten van gebruik en ondersteuning;
- kosten voor recycling en afbraak van munitie.

Voor het onderzoek naar IM geldt, dat het meeste, fundamentele (hoog risico) onderzoek is afgerond en dat de technologie bruikbaar is voor de ontwikkeling van nieuwe munitie-items. De gemiddelde ontwikkelingskosten van minder kwetsbare munitie zullen niet speciaal hoger liggen dan die van conventionele munitie. Er zullen nog wel een aantal extra testen moeten worden gedaan om te bewijzen dat de nieuwe technologie echt werkt. Als dit voor een aantal items is bewezen zullen deze extra kosten verdwijnen.

Nederland draagt als primair verwervend land niet direct bij aan de onderzoeks- en ontwikkelingskosten, maar aangezien deze over het algemeen doorberekend zullen worden in de aanschafkosten van munitie, is dit punt ook van belang.

De productiekosten van MKM liggen waarschijnlijk hoger dan die van niet-MKM; sommige materialen voor MKM zijn kostbaarder en de productieprocessen zijn nieuw en kosten daardoor meer. Een belangrijk aspect is hierbij dat de kosten van explosieven in munitie slechts een klein deel uitmaken van de totale productiekosten. De totale kosten van een munitie-item stijgen dus niet zoveel door het gebruik van MKM.

Als de investeringen eenmaal gedaan zijn, zal een groot deel van de extra kosten gaan verdwijnen. Als het productievolume van MKM gaat toenemen worden de gemiddelde kosten verder verlaagd.

De kosten van het gebruik zullen door toegenomen veiligheid en flexibiliteit afnemen zoals samengevat in tabel 4. Bij de kosten voor het onderhoud is het van groot belang te weten hoe snel MKM veroudert ten opzichte van niet-MKM. Als MKM minder snel veroudert dan conventionele munitie, betekent dit dat het langer mee gaat en dat er waarschijnlijk ook minder onderhoud hoeft plaats te vinden. De volgende paragraaf behandelt de veroudering van MKM.

Voor de kosten van het afbreken en recyclen van MKM worden geen verschillen verwacht met conventionele munitie.

Op grond van deze argumenten is de verwachting, dat de totale kosten gedurende de levensduur van MKM niet wezenlijk hoger zullen zijn dan die van conventionele munitie. Voor een specifiek munitie-item zal van beide soorten een kosten-baten analyse uitgevoerd moeten worden. Hier voor zijn speciale modellen ontwikkeld. Zo is door NIMIC het model CBAM ontwikkeld om de kosten en baten van een munitieartikel gedurende de hele levensduur te berekenen.

3.6 Veroudering

Voor het invoeren van MKM is het van belang, dat men weet wat veroudering met MKM doet. Ten eerste is het belangrijk om te weten of en hoe de ‘minder kwetsbaarheid’ van de munitie verandert onder invloed van de levensduur. Ten tweede is het vanuit financieel oogpunt van belang de levensduur van MKM ten opzichte van conventionele munitie te kennen. Op dit moment is er nog niet zo veel ervaring met verouderd MKM, omdat deze munitie nog niet zo lang in omloop is.

De snelheid waarmee munitie veroudert, is afhankelijk van de omgevingscondities, waaraan het is blootgesteld. Om correcte uitspraken te doen over de veroudering van munitie moet de blootstelling aan invloeden uit de omgeving vastgesteld worden. Voorbeelden van deze invloeden zijn hoge en lage temperaturen, temperatuurschokken, vocht, trillingen en straling van de zon. De gevolgen van deze invloeden kunnen bepaald worden door kunstmatige veroudering toe te passen. Maar bij kunstmatige veroudering loopt men het gevaar, dat bepaalde verouderings-mechanismen sterker toegepast worden dan in de werkelijkheid het geval zou zijn.

Daarom moet bepaald worden welke verouderingsmechanismen de kwetsbaarheid van de munitie beïnvloeden. Als deze mechanismen eenmaal bekend zijn, kan de vordering van de veroudering bepaald worden door te meten, hoe vaak ze voorkomen.

Voorbeelden van deze mechanismen zijn:

- degradatie van de binder;
- migratie van de plasticiser;
- chemische verval van het energetisch materiaal;
- degradatie van de mechanische eigenschappen;
- uitdroging;
- verandering van de morfologie van de explosieve deeltjes;
- vorming van cracks.

In een recent onderzoek [17] worden de gevolgen van veroudering van ROWANEX 1400 explosieven (gegoten PBX) kunstmatig getest. Een voorbeeld van een hierbij gebruikt kunstmatig verouderingsproces is het volgende:

- 1 31 dagen op 71 °C;
- 2 169 dagen B3 cycling (diurnal cyclus 33-71 °C);
- 3 transport trillingen (Def. Stan. 00-35; 2 uur per as, 2 g sinusvormige sweep);
- 4 10 uur trillingen per as (Def. Stan; 00-35 -0,4 g²/Hz, 20-2000 Hz);
- 5 thermische Schok (Def. Stan. 00-35; +70 to -55 °C, overgangstijd 3-5 min, 10 cycli).

De kleine veranderingen in de fysische en mechanische eigenschappen in Rowanex 1400 die door de veroudering optreden, worden verwacht geen wezenlijke invloed te hebben op het functioneren van het explosief. In dit geval zal de kwetsbaarheid van de munitie niet toenemen.

In een ander onderzoek [18] wordt gesteld, dat PBX, gegoten uit I-RDX[®] van Eurenco (via het Woolwich-proces) met een lage schokgevoeligheid, na kunstmatige veroudering niet significant gevoeliger wordt voor schok. Daarentegen lijkt het erop dat PBX gemaakt uit RDX geproduceerd met het Bachmann proces wel gevoeliger wordt voor schok door kunstmatige veroudering. Om conclusies te trekken over wat het verouderen van PBX of MKM in het algemeen met de gevoeligheid doet, moet nog meer onderzoek gedaan worden.

4 Mitigation technieken

4.1 Wat zijn mitigation technieken?

Zoals in hoofdstuk 3 reeds gemeld is, zijn er verschillende manieren om operationele inzet van munitie, opslag en transport veiliger te maken (figuur 5). De verschillende niveau's leveren ieder op hun beurt een bijdrage aan de veiligheid. De methoden op de eerste 2 niveau's (explosieve, kristallijne stof en de compositie) zijn duidelijk afhankelijk van het geleverde munitie-item en worden veelal gebruikt in MKM munitie.

Het derde niveau, de mitigation (onderdrukking) technieken op munitie item niveau, is in te delen in interne en externe mitigation technieken. Interne technieken, zoals ventgaten in een gevechtslading, liner-systemen of warmtewerende verf, zijn eigenlijk technieken die tijdens de ontwikkeling/assemblage van het item aangebracht zijn waardoor de munitie voor een bepaalde dreiging minder gevoelig is en een minder heftige responsie geeft. Externe mitigation technieken zijn de technieken, zoals het aanbrengen van een beschermlaag om een gevechtslading of een lanceerbuis van een 'missile'. Deze laatste wordt vaak tijdens de ontwikkeling van munitie bedacht en aangebracht maar kan eventueel ook in een later stadium alsnog aangebracht worden. Hierdoor kan ook de opslag en transport van *conventionele* munitie veiliger gemaakt worden. Het zelfde geldt ook voor de laatste niveaus: het niveau van de verpakke-eenheid en het niveau van de totale opslag. Barrières tussen de pallets met munitie items en op hoger niveau, zand- of water barrières etc. zorgen er voor dat op het eerste van de twee niveaus bijvoorbeeld slechts een enkel item explodeert terwijl de anderen niet exploderen, en op het tweede niveau een pallet of deel van de opslag explodeert terwijl de naastliggende items niet reageren.

Het soort mitigation waarop in dit rapport wordt ingegaan betreft met name de externe mitigation van een munitie item of de mitigation tussen verschillende items in een box of pallet waardoor in principe een item of een in een box of container met items MKM geclassificeerd kan worden.

De methoden kunnen onder andere ingedeeld worden in het type dreiging die ze kunnen voorkomen/temperen:

- i protectie tegen een thermische dreiging;
- ii protectie tegen schok/impact en sympathische reactie;
- iii protectie tegen elektrostatische en elektromagnetische dreigingen;
- iv preventie van catastrofale druk opbouw.

Ad i) Middelen die hier onder vallen zijn onder andere thermische protectie zoals verf op containers of opbergfaciliteiten die de snelle opwarming tegen gaan door opschuimen; evenals hitteschilden in een container of box.

Ad ii) Hieronder vallen onder andere buffers voor het reduceren van de schok, buffers voor het reduceren van impact snelheid van fragmenten en kogels (penetratoren) door middel van pantser technieken. Tal van laminaire pantsers zijn ontwikkeld die kogels redelijk kunnen stoppen of fragmenten redelijk kunnen afvangen. Ook optimalisatie van de indeling van munitie bij opslag en transport is mogelijk zodat de kans op een sympathische reactie kleiner wordt. Hier ligt ook de link met de nieuwe ontwikkelingen

op het gebied van zogenaamde 'sensitivity groups' (SG) waarbij munitie die bij een bepaalde energie en impuls niet tot reactie komt in een bepaalde gevoeligheidsgroep ingedeeld wordt (SG 1 - SG 5). Een goede schikking van de ene groep ten opzicht van de andere kan hierbij van belang zijn.

Ad iii) Gebruik van containers die elektrisch geleidend zijn.

Ad iv) Gebruik van 'vent' systemen op containers.

De gebruikte methoden geven slechts beperkte bescherming en daarmee beperkte extra veiligheid. Ook kan het voorkomen, dat een bepaalde bescherming uiteindelijk het explosie effect toch vergroot. Zo kan bijvoorbeeld bij een vertraging van de opwarming van de munitie met het doel om tijd te winnen voor het blussen of vluchten, er uiteindelijk een heftigere reactie ontstaan dan zou optreden bij een snelle opwarming van het item.

Om te laten zien dat er goede (en lichtgewicht) ontwikkelingen zijn op het gebied van mitigation technieken volgen in verdere van dit hoofdstuk een tweetal voorbeelden. Het eerste voorbeeld betreft een afvang van een schokinitiatie, het tweede voorbeeld een blast- en fragmentenafvang, beiden ter voorkoming van een sympathische reactie.

4.2 Betonnen barrière

Een van de ontwikkelingen die moeten voorkómen dat een naastliggend artikel sympathisch mee reageert is poreus beton (figuur 6) met een dichtheid van $0,55 \text{ g/cm}^3$, en ontwikkeld bij SME (Frankrijk) [19]. Uit proefnemingen is gebleken dat een druk van 160 kbar en duur van 2 microseconden bij 100 mm beton wordt afgezwakt tot 58 kbar en 2 microseconden, bij 250 mm beton tot 37 kbar en 20 microseconden. Dit laatste blijkt voldoende te zijn om een general purpose bomb MK82 (met 85 kg PBXN109 met initiatie druk van 5,9 kbar) niet sympathisch mee te laten reageren.



Figuur 6 Poreus beton met een dichtheid van $0,55 \text{ gram/cm}^3$ om de schokenergie af te vangen voor het naastliggende item.

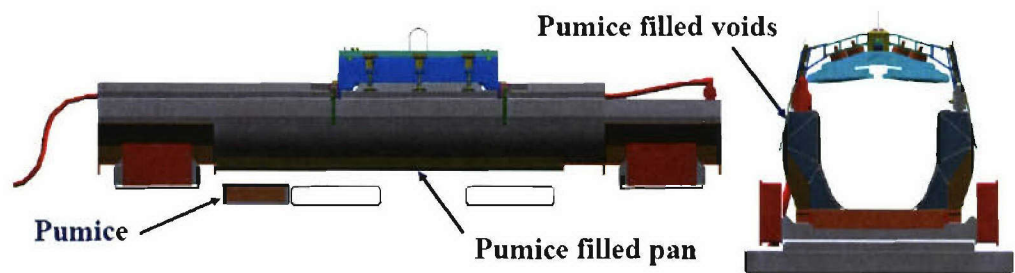
4.3 Puimsteen barrière

In een tweede voorbeeld wordt puimsteen met een epoxy lijm als tempering gebruikt om te voorkomen dat de gevechtslading van een SLAM-ER sympathisch mee reageert. Het materiaal is goedkoop en blijkt de energie van de blast en fragmenten dusdanig op

te vangen, dat de sympathische reactie van enkele containers voorkomen wordt. In figuur 7 is een voorbeeld van dit puimsteen met epoxy lijm te zien terwijl in figuur 8 een ontwikkelde en geteste opstelling te zien is met de locaties van het aanwezige puimsteen.



Figuur 7 Puimsteen met epoxy lijm voor temperen van blast en fragmenten.



Figuur 8 SLAM-ER met puimsteen-epoxy lijm als 'mitigation' van sympathische reactie.

Figuur 9 geeft de geteste configuratie weer met links in het midden de donor missile, waarbij de warhead geïnitieerd is, met 4 acceptors en 1 inert item rondom. Figuur 10 geeft de fragmentatie van de items na de test weer. Duidelijk is dat er geen heftige reacties zijn opgetreden.

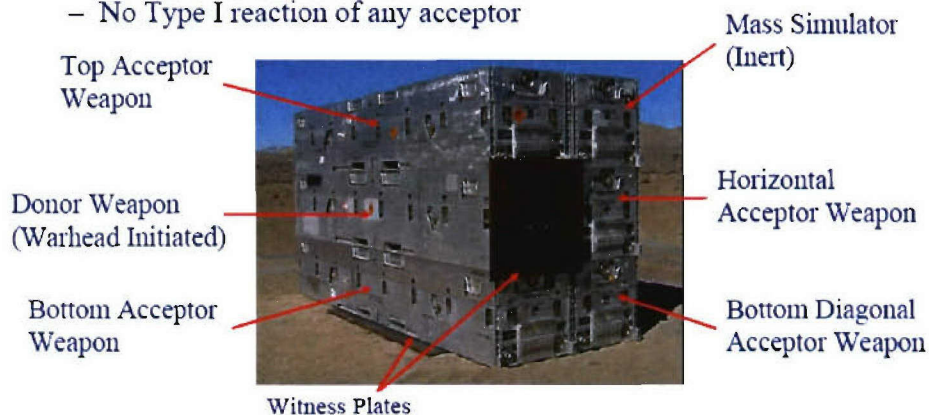
Ondanks dat er met beschermende maatregelen goede resultaten kunnen worden geboekt, zelfs met conventionele munitie, eist deze munitie heel wat meer beschermingsmaatregelen dan MKM munitie om een heftige reactie te voorkomen. Het gebruik van MKM munitie heeft daarom toch de voorkeur. Naast het gebruik van minder gevoelige explosieve stoffen in MKM munitie, zijn er nog tal van andere mitigation technieken die gebruikt worden om deze munitie voor allerlei verschillende dreigingen te beschermen. Dit zijn technieken als interne liners in een warhead om een schok initiatie te voorkomen of een actief systeem dat drukopbouw bij opwarming voorkomt of een composiet casing die smelt, waarbij de romp van een missile open scheurt, waardoor er een milde reactie optreedt. Ook een initiatietrein die zonder primaire springstoffen wordt geïnitieerd, behoort tot een van de mogelijke oplossingen.



SD Test Pumice Modified Container

PUBLIC RELEASE

- SD test conducted 11 February 2004 at China Lake Cactus Flats Test Range
- Passing criteria (in accordance with MIL-STD-2105B)
 - No Type I reaction of any acceptor

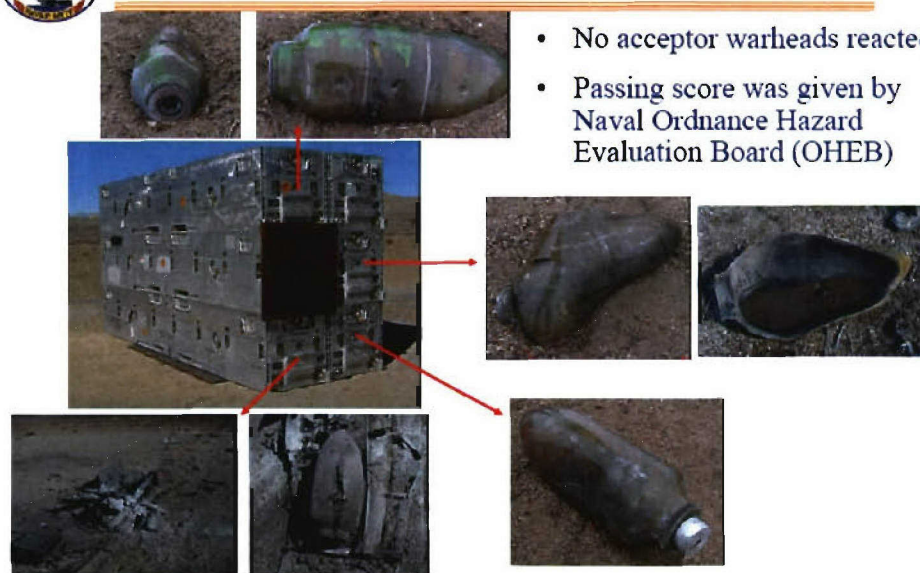


Figuur 9 Geteste configuratie met SLAM-ER met puimsteen en epoxy-lijm met links in het midden de donor en rondom de acceptor systemen.



SD Test Results Pumice Modified Container

PUBLIC RELEASE



Figuur 10 De fragmentatie na de SD test met puimsteen als afvang materiaal.

5 Conclusies

Het gebruik van MKM verhoogt de inzetbaarheid van munitie en wapensystemen en biedt de grootst mogelijke veiligheid voor het personeel en de omgeving.

Veiligheid

- Bij gebruik van MKM zullen er minder doden en gewonden vallen bij ongelukken. Onder invloed van verschillende dreigingen zal hoogstens een stuks MKM exploderen en aanliggende stukken MKM zullen een mildere responsie hebben.
- De operationele inzet van munitie wordt veiliger, doordat de gevolgen van de inslag van vijandelijk vuur een stuk kleiner zijn bij gebruik van MKM.

Kosten

- De kosten bij een ongeluk zijn bij het gebruik van MKM een stuk lager, omdat een klein ongeluk zich niet door een kettingreactie van detonaties tot een ernstig ongeluk kan ontwikkelen.
- Voor het transport geldt dat MKM door de lagere gevoeligheid sneller en flexibeler getransporteerd kan worden en daardoor eerder inzetbaar is. Verder is de opslag van MKM aan andere, minder strenge regels gebonden. Zo kan men op een kleiner stuk grond een munitiedepot bouwen of in een bestaand depot meer opslaan. De kosten voor transport en opslag vallen daardoor lager uit.
- Het is de verwachting, dat de totale kosten gedurende de levensduur van MKM niet wezenlijk hoger zullen zijn dan die van conventionele munitie. Voor een specifiek munitie-item zal van beide soorten een kosten-baten analyse uitgevoerd moeten worden.
- Er komt steeds meer MKM op de markt, waardoor de aanschafkosten van MKM zullen gaan dalen.

Operationele inzet

- Bij een onverhoopte inslag van vijandelijke munitie op een munitiedepot, is de kans kleiner, dat grote hoeveelheden munitie exploderen of op een andere manier onbruikbaar raken. Het voortzettingsvermogen van een operatie komt minder snel in gevaar.
- Voor militaire (vredes) operaties in internationaal verband kan het van belang zijn om gebruik te gaan maken van MKM om uitsluiting door MKM-gebruikende landen te voorkomen.

Onderzoek

- Er zijn ongevoelige PBX-en te verkrijgen (bijvoorbeeld via het Woolwich proces), waarvan men verwacht dat ze niet gevoeliger worden voor schok na kunstmatige veroudering. Hiernaar wordt momenteel veel onderzoek gedaan. De ongevoelige PBX-en zijn van groot belang voor de productie van MKM met een lange levenscyclus.

Voor vrijwel alle munitiesoorten is er al een variant te vinden, die bestand is tegen de meeste, algemeen voorkomende dreigingen. Het is dus mogelijk om te beginnen met het invoeren van MKM. Met alle bijkomende voordelen van dien.

Ook de reactie van conventionele munitie op ongewenste stimuli kan milder gemaakt worden door middel van mitigation technieken. Zo kan een schokgolf bijvoorbeeld getemperd worden door een puimstenen barrière rondom een munitieartikel, waardoor de reactie van de munitie op de schokgolf milder wordt.

6 Referenties

- [1] <http://www.nato.int/related/nimic>
- [2] NATO, STANAG 4439 (Edition 1) – ‘Policy for introduction, assessment and testing for insensitive munitions (murat)’.
- [3] NATO, AOP-39 (Edition 1) – ‘Guidance on the development, assessment and testing of insensitive munitions (murat)’.
- [4] Insensitive Munitions National Policies: the Key Differences NIMIC Limited 91, 2004.
- [5] John Niles, Mitigating Shaped Charge Jet Impact on Munitions, IMEMTS Symposium, 2004.
- [6] Insensitive Munitions implementation strategy for the UK armed forces, DOSB PAPER P(02) 7, 2002.
- [7] <http://www.ordnance.org/mishaps.htm>
- [8] Marchandin, P. en Sharp, M.W., Accidents involving munitions around the world and cook-off reaction mechanisms, NIMIC Limited 88, 2002.
- [9] A historical perspective of insensitive munitions and their estimated contribution to CV safety, CRM 90-260 (1991) in ‘US Navy Insensitive munitions program’ by R. Bowen during Club Murat Conference 1998.
- [10] MacKichan, A.S., Charlcombe Associates Limited, Insensitive munitions and their impact on logistic costs, 1999.
- [11] MacKichan, A.S., Charlcombe Associates Limited, The logistic and operational benefits of insensitive munitions, 2001.
- [12] Marchandin, P., IM signatures, hazard divisions and labeling, NIMIC Limited 84, 2002.
- [13] Mary Sherlock, Combat Safe Insensitive Munitions, IMEMTS symposium, 2003.
- [14] Henderson, J., Storage of insensitive munitions, Letter to AC/326(SG5), DOSG/6/3/1/8, 18 maart 2003.
- [15] NIMIC Newsletter, 2nd quarter 2004, Insensitive Munitions: technological solutions supporting NATO’s military concept for defense against terrorism.
- [16] Pascal Marchandin, Intrinsic Benefits of Insensitive Munitions, NIMIC Open 75, 2002.
- [17] Philip Cheese, e.a., Studies on the Effect of Ageing on a Range of UK Polymer-Bonded Explosives, IMEMTS Symposium, 2004.
- [18] Spyckerelle, C. e.a., Ageing of I-RDX[®] and of compositions based on I-RDX[®], IMEMTS symposium, 2004.
- [19] Desailly, D.; Chabin, P.; Lecume, S. en Freche, A., New concept to prevent sympathetic detonation, IMEMTS Symposium, 2004.

7 Ondertekening

Rijswijk, juni 2006

TNO Defensie en Veiligheid



dr. ir. J.L. Verolme
Groepshoofd



ir. P.G. van 't Hof
Auteur



ir. J.H.G. Scholtes
Auteur

ONGERUBRICEERD

REPORT DOCUMENTATION PAGE
(MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) TD2005-0562	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO -	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO TNO-DV2 2006 A102
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 014.16067	5. CONTRACT NO -	6. REPORT DATE June 2006
7. NUMBER OF PAGES 28 (excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 19	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE (Consequenties van de invoering van MKM-munitie op veiligheid, gevolgschade en (internationaal) opereren) Consequences of the introduction of Insensitive Munitions on safety, collateral damage and operations		
11. AUTHOR(S) P.G. van 't Hof, MSc., J.H.G. Scholtes, MSc.		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Defence, Security and Safety, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Ministerie van Defensie DRMV, P.O. Box 20701, 2500 ES Den Haag, The Netherlands		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) Between 1966 and 1981 four major accidents took place on United States aircraft carriers. In all cases a small incident resulted in a chain reaction of explosions. These accidents have led to the demand for Insensitive Munitions (IM). Nowadays a couple of NATO-partners have developed IM policy for the procurement of new munitions. In this report the IM phenomenon is explained and some technical achievements concerning IM are reported. The use of IM enhances the availability of munitions and platforms and offers the highest safety level for personnel and surroundings. In accidents the number of people killed or injured and the materiel damaged will be smaller. Transport and storage of munitions are safer and more flexible and therefore save money. The total costs of insensitive munitions during the whole life-cycle are expected to be lower. For international military operations it can be important to use IM to prevent exclusion by other IM-using countries. Within NATO the introduction of IM is called in the light of 'Defense against Terrorism'. At this moment for most munitions a (partly) IM substitute can be found. Reactions of conventional munitions on unwanted stimuli can be weakened as well by means of mitigation techniques.		
16. DESCRIPTORS Insensitive Munitions, IM, Cost benefit analysis		IDENTIFIERS -
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

ONGERUBRICEERD

Distributielijst

Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport.

- 1 DMO/SC-DR&D
standaard inclusief digitale versie bijgeleverd op cd-rom
- 2/3 DMO/DR&D/Kennistransfer
- 4 Programmabegeleider Defensie
DMO/WSB/LU,
Lkol. J. Paap
- 5 Projectbegeleider Defensie
DMO/LS/WS&M/Sectie munitie,
ing. J.C. Hoeneveld
- 6/8 Bibliotheek KMA
- 9 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk
Manager Bescherming, Munitie en Wapens (operaties), ir. P.J.M. Elands
- 10 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,
Bescherming, Munitie en Wapens (kennis), ir. W. Karthaus
- 11 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,
Bescherming, Munitie en Wapens (markt), dr. ir. L.H.J. Absil
- 12 Programmaleider TNO Defensie en Veiligheid
ing. M.P. van Rooijen
- 13 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,
Informatie- en Documentatiedienst (losbladig exemplaar)
- 14 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,
Vormgeving en Tekstverwerking, Hoofd TVW (daarna reserve Archief)
- 15 DMO/WCS/Future Vision,
LTZE1 A. Kampen
- 16 Koninklijke Landmacht, Explosieven Opruimings Commando (EOC-KL),
LKol. ing. R. Pijtak
- 17 Ministerie van Defensie DRMV,
ir. H.C. van Arkel
- 18 DMO/Zee/Hoofd geleidewapens,
KLTZE ir. P.J. van Daalen
- 19 DMO/DB/DR&D,
ing. L.J. Zijdeman

20/23 TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,
Business Unit Bescherming, Munitie en Wapens,
dr. ir. R.H.B. Bouma, dr. ir. J.L. Verolme, ir. P.G. van 't Hof en
ir. J.H.G. Scholtes

@ TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,
Marketing en Communicatie (digitale versie via Archief)

**Onderstaande instanties/personen ontvangen het managementuittreksel
en de distributielijst van het rapport.**

- 4 ex. DMO/SC-DR&D
- 1 ex. DMO/ressort Zeesystemen
- 1 ex. DMO/ressort Landsystemen
- 1 ex. DMO/ressort Luchtsystemen
- 2 ex. BS/DS/DOBBP/SCOB
- 1 ex. MIVD/AAR/BMT
- 1 ex. Staf CZSK
- 1 ex. Staf CLAS
- 1 ex. Staf CLSK
- 1 ex. Staf KMar
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Algemeen Directeur,
ir. P.A.O.G. Korting
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Operaties, ir. C. Eberwijn
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Kennis, prof. dr. P. Werkhoven
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Markt, G.D. Klein Baltink
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,
Manager Waarnemingssystemen (operaties), dr. M.W. Leeuw
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,
Manager Beleidsstudies Operationele Analyse &
Informatie Voorziening (operaties), drs. T. de Groot
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,
Manager BC Bescherming (operaties), ir. R.J.A. Kersten
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
Manager Human Factors (operaties), drs. H.J. Vink